

Empleo de las imágenes NOAA-AVHRR en la determinación de las corrientes marinas próximas a Cuba y en la valoración del impacto de las condiciones meteorológicas sobre estas

*Dr. C Eugenio Mojena López, eugenio.mojena@insmet.cu
Lic. Julia Leiva Santos, MSc. Gloria Rodríguez Fernández,
Tecn. Antonia Ortega González, Instituto de Meteorología, Cuba.
MSc. Víctor Hugo Bastida Villalobos, Universidad Autónoma Metropolitana
Iztapalapa (México).*

Resumen

En el presente trabajo se hace un estudio de las corrientes marinas próximas a Cuba, a partir de las imágenes del sensor AVHRR de los satélites NOAA. Se hace además, una valoración del impacto de las condiciones meteorológicas para una situación específica de estas corrientes y la significación que este efecto tiene en la evolución de un derrame de hidrocarburo transportado por estas corrientes. Las imágenes empleadas en este estudio fueron capturadas por las estaciones rastreadoras de satélite del Instituto de Meteorología de La Habana, Cuba, las que fueron procesadas con el Envi 4. Para el análisis de la información meteorológica se desarrollaron un conjunto de mapas basados en la información de archivo del Instituto de Meteorología.

Palabras claves: Corrientes marinas, imágenes de satélites, condiciones meteorológicas.

Introducción

Desde el comienzo de la era espacial la información las imágenes transmitidas por los satélites de control del medio ambiente ha sido muy empleada en las investigaciones marinas y costeras. Estas han dado una valiosa contribución al conocimiento acerca de la distribución de las masas de agua, de los patrones de circulación a diferentes escalas, de la estructura de las corrientes costeras y de zonas de convergencia y divergencia de masas de agua, de los vórtices y anillos, de zonas con fuertes gradientes de temperatura, entre otros.

Así el análisis detallado de las imágenes de satélite ha permitido el establecimiento de patrones térmicos determinados para los meses de invierno en el Golfo de México (Maul, 1975).

La determinación de la generación de ondas, conjuntamente con la evolución del estado del tiempo es de gran importancia en la determinación del comportamiento de las corrientes, lo que puede llevar a cambios en el campo de velocidad de este fluido, con consecuencias vitales en la evolución de los derrames de hidrocarburos u otros contaminantes.

De esto depende la localización y extensión que alcanzan en un momento dado, el tiempo para la afectación y la magnitud de su impacto en un área costera dada.

Las imágenes empleadas, dadas las características específicas del trabajo a realizar, en que se tenía como objetivo central especificar los casos para la determinación de las corrientes marinas próximas a Cuba, y la determinación de fenómenos hidrometeorológicos que puedan generar perturbaciones de estas con implicaciones directas para los cayos y zonas costeras del territorio nacional, no se ajustan a un período específico, sino que fueron empleadas un conjunto de imágenes de los satélites de la serie NOAA-AVHRR de 1 y 4 km de resolución, de los canales 3 y 4 principalmente, correspondientes a las décadas del 80, 90 y del período transcurrido del 2000 al 2002. Se tomó como premisa la factibilidad de determinar las corrientes y sus perturbaciones por el efecto de fenómenos meteorológicos.

Las corrientes oceánicas son un fenómeno esencialmente geofísico que aparecen como resultado de la combinación de diferentes factores, un papel de gran importancia jugó el transporte de momentun y de energía cinética del viento al océa-

no y se consideró que el sistema de viento predominante es la fuerza impulsora principal de las corrientes oceánicas y de otros fenómenos marinos. A manera de ejemplo se puede citar la extensa afloración que se produce en las costas del Pacífico de Centroamérica, golfo de Tehuantepec y Fonseca (Permenter, 1977).

El conocimiento de los desplazamientos superficiales marinos resulta de especial interés en distintos ámbitos tales como el estudio de rasgos térmicos sobre la superficie marina, de igual forma la determinación de estas corrientes superficiales inducidas por el viento a partir de las imágenes NOAA (Martínez, 1998). Es de gran importancia en la determinación de la propagación de los contaminantes marinos. De aquí que el análisis combinado de los mapas sinópticos del tiempo, con las imágenes obtenidas de los satélites meteorológicos, resulta una herramienta clave en el estudio de las corrientes oceánicas y la determinación de los derrames de hidrocarburos.

Materiales y métodos

Mapas sinópticos del tiempo de superficie, campo bórico y de temperatura superficial del mar, cartas de dirección del viento sobre el océano, imágenes NOAA- AVHRR canal 3 y 4, ver cuadro 1 (NOAA KLM User's Guide), imágenes GOES IR y Vs, software ENVI 3,6 para el procesamiento de las imágenes. Los métodos de trabajo estarán fundamentados principalmente en las técnicas del proceso digital de imágenes y el análisis de los mapas sinópticos del tiempo.

Cuadro 1. Muestra los canales espectrales del sensor AVHRR/3 NOAA KLM

Canal1: 0,58	0,68 μm
Canal2: 0,72	1,00 μm
Canal3A: 1,58	1,64 μm^*
Canal3B: 3,55	3,93 μm
Canal4: 10,3	11,3 μm
Canal5: 11,5	12,5 μm

Corrientes marinas próximas a Cuba

Alrededor de la isla de Cuba se encuentran un conjunto de corrientes oceánicas que influyen sensiblemente en sus condiciones ambientales marinas y costeras, al norte en el Golfo de México está la corriente de Lazo, la que moviéndose al sur se convierte en la Corriente del Golfo y sale al océano Atlántico a través del Canal de la Florida próxima a la costa norte de la región occidental de Cuba. También al norte y próxima a la costa norte de la región

oriental de Cuba se encuentra la Corriente de las Antillas, la que se desplaza en un rumbo próximo al oeste hasta fundirse con la Corriente del Golfo.

Al sur a lo largo de la isla yace la Corriente de Guyana la que moviéndose al oeste se divide en dos ramas: una que continúa moviéndose al oeste, próxima a las costas de Cuba y la otra que se interna en el golfo de Los Mosquitos, asciende al Golfo de Honduras y continúa hacia el norte próxima a las costas de Yucatán, se unen en el extremo noroeste del Mar Caribe Occidental a la otra rama para emerger al Golfo de México a través del Canal de Yucatán e incorporarse a la Corriente del Golfo.

Análisis y discusión de las imágenes procesadas

El procesamiento de las imágenes térmicas ha permitido la ubicación de las corrientes marinas próximas a Cuba, con mayor o menor nitidez en dependencia de la estación del año, se observa con más claridad durante los meses de invierno cuando los gradientes térmicos son más pronunciados. El principio físico de la determinación de la temperatura sobre la base de imágenes IR térmico está totalmente fundamentado en los trabajos de (Gulta y Gopal Rao, 1983), por ello no es de interés su análisis dentro de este estudio.

Como muestra de las imágenes procesadas se tomó una de las capturadas en la estación de Casa Blanca, en la banda 4 (Fig. 1). Esta es una imagen cuyo procesamiento revela características y procesos de sumo interés.

La figura 1a y b muestra la imagen 1a tomada el 14 de abril de 1988, y después de ser contrastada permite un análisis visual de la estructura térmica de la superficie del océano próxima a Cuba. Para el análisis sinóptico de las corrientes se emplearon simultáneamente la imagen 1a que es la primaria contrastada y la imagen 1b que es la 1a con la aplicación ENVI (Tool) color Tables (Red Temperatura). Esta opción se aplicó con la finalidad de acentuar aún más los contrastes térmicos para el análisis visual.

Sobre el sudeste y centro del Golfo de México se puede apreciar la presencia de áreas de agua caliente, enmarcadas principalmente hacia el centro y sudeste del golfo (áreas oscuras), a pesar de la contaminación por nubes en esta zona a través de los espacios entre nubes, se puede observar la superficie marina caliente, lo que permite dar continuidad a la Corriente de Lazo.

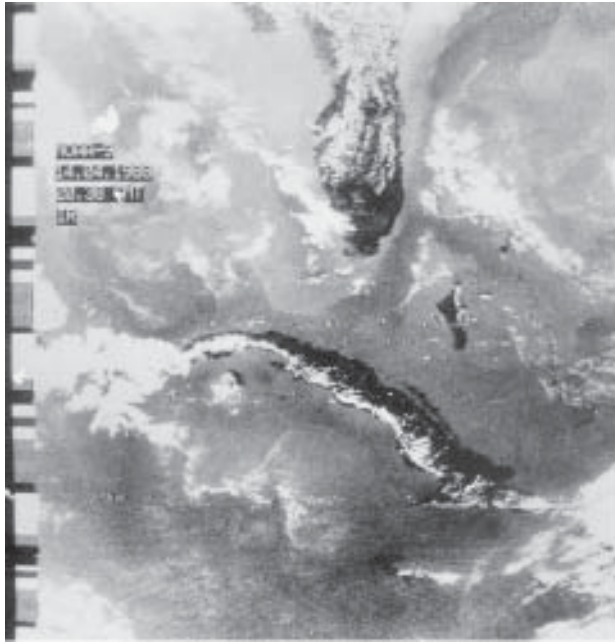


Fig. 1a. Imagen IR Térmica, NOAA 9.

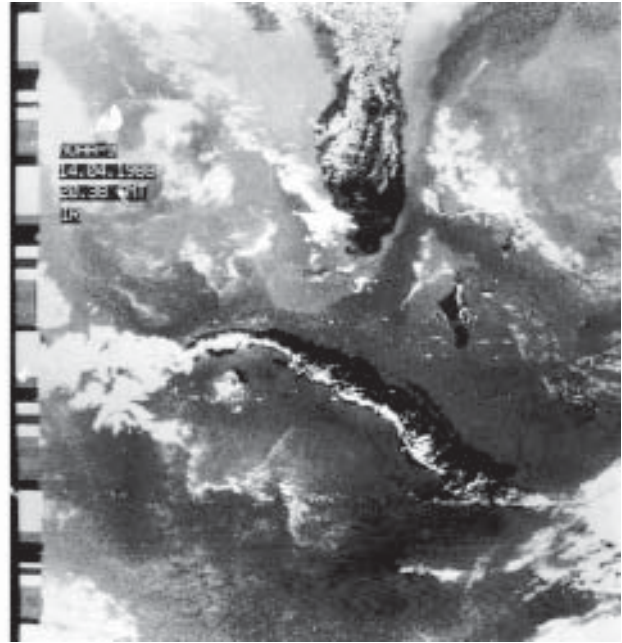


Fig. 1b. Imagen IR Térmica, con la aplicación «ENVI (Tool) color tablas (Red Temperatura)».

La porción este del Golfo de México hasta la costa oeste de la Península de la Florida, y más de la mitad norte del Canal de la Florida está ocupada por aguas comparativamente frías. Desde el borde sur de esta lengua de agua fría, hasta la costa norte de las provincias de La Habana y Matanzas, se observa una lengua de agua caliente que saliendo del Golfo de México se desplaza al sudeste y toma la forma de una cinta de tono muy oscuro, que continúa al este para recurvar luego al nordeste e inclinar su rumbo casi al norte, y desplazarse paralelamente a la costa oriental del continente, orientando su rumbo más al este en latitudes superiores a los 35 grados de latitud norte.

Esta es la denominada Corriente del Golfo, una de las principales corrientes marinas del planeta. El contraste térmico entre los bordes de esta corriente y su entorno es muy marcado. Entre la corriente del Golfo y la costa oriental del continente la imagen muestra una banda de tonos muy claros, correspondientes a aguas muy frías que descienden de latitudes más altas: esta es la Corriente del Labrador.

El análisis de esa imagen pone de manifiesto un desplazamiento pronunciado de la Corriente del Golfo hacia el sur sobre la costa de Cuba, lo que la desplaza sensiblemente de su curso habitual muy próximo al extremo sur de la Florida.

Al norte de la mitad oriental de Cuba y extendida sobre las Bahamas, la imagen muestra una zona de tonos oscuros que se desplaza hacia el este

nordeste, continuando casi paralela a las costas de Cuba hasta fundirse con las aguas de la Corriente del Golfo a la altura del meridiano 79, donde la estructura térmica de las aguas no diferencia las aguas correspondiente a cada una de las corrientes, solamente se observa un ensanchamiento de la zona caliente. Un análisis de color del océano (CZCS, SeaWiFS,...) es probable que posibilite la discriminación de estas. Esta corriente marina que se extiende hacia el este nordeste próxima a la costa norte de Cuba es la llamada Corriente de las Antillas y se alimenta de las aguas calientes de la Corriente Ecuatorial del norte, la cual aparece desplazada al sur de su posición.

Al sur de la isla Cuba y procedente del Caribe Oriental se observa una zona de aguas calientes de tonos oscuros que se divide en dos bandas: una se desplaza casi paralela a la costa sur de Cuba hasta las inmediaciones del canal de Yucatán y la otra se interna en el Golfo de los Mosquitos, asciende posteriormente al Golfo de Honduras continuando al norte para unirse a la primera rama y emerger al golfo como una sola corriente que se incorpora a la Corriente del Golfo. Esta es la denominada Corriente de las Guayanas y sus aguas calientes se pueden observar próximas a la costa norte de Pinar del Río.

Como se puede apreciar la imagen IR facilita la descripción detallada de las corrientes marinas próximas a Cuba, lo cual es de suma importancia pues permite monitorear el desplazamiento de los

derrames de petróleo transportados por las corrientes marinas.

Análisis pormenorizado de las corrientes marinas próximas a Cuba

Como se planteó antes, la Corriente del Golfo aparece significativamente desplazada hacia el sur, bañando con sus aguas calientes la costa norte de las provincias de La Habana y Matanzas. Esta situación hubiese sido de consecuencias catastróficas para esta región en caso de haberse producido un derrame significativo de petróleo en la región central del Golfo de México, ya que este hubiese derivado con la Corriente del Golfo e impactado directamente sobre la costa norte de la mitad occidental de Cuba.

Para hacer un análisis más detallado de esta situación se preparó una subescena de la imagen 1 (Fig. 1) centrada en el área de estudio, a la cual se le aplicó un procesamiento adicional con el objetivo de ganar en detalles sobre el proceso acaecido en esta zona. A la imagen 2 (Fig. 2) se le hizo la aplicación «ENVI (Tool) Color Table (Purple-Red + Stripes)».

El trabajo con esta subescena procesada con las aplicaciones antes señaladas permite apreciar nítidamente la magnitud de la intrusión de las aguas

calientes de la Corriente del Golfo sobre las costas cubanas. Esta imagen también permite ver con mayor nitidez el derrame de agua caliente procedente de la Corriente de las Antillas sobre la costa norte de la mitad oriental de Cuba.

Afectación de las condiciones meteorológicas sobre las corrientes próximas a Cuba

Aunque este estudio está centrado en la Corriente del Golfo también se analizará el efecto de las condiciones meteorológicas sobre la Corriente de las Antillas.

Tomamos como base el estudio la imagen del 14/4/88 donde se ve en su máxima magnitud la irrupción de las aguas calientes procedentes de la Corriente del Golfo sobre las costas cubanas (Mojena, 1988). Con la finalidad de esclarecer los procesos meteorológicos que generaron la perturbación sobre la Corriente del Golfo, se compiló y analizó toda la información disponible entre los días 5 y 15 de abril, la que acorde con nuestros intereses consistió en imágenes NOAA IR (Temperatura del mar) imágenes GOES IR y Vs (Estado del tiempo) mapas de superficie 1200Z (Campo bórico, temperatura del mar y campo de viento). Esta informa-

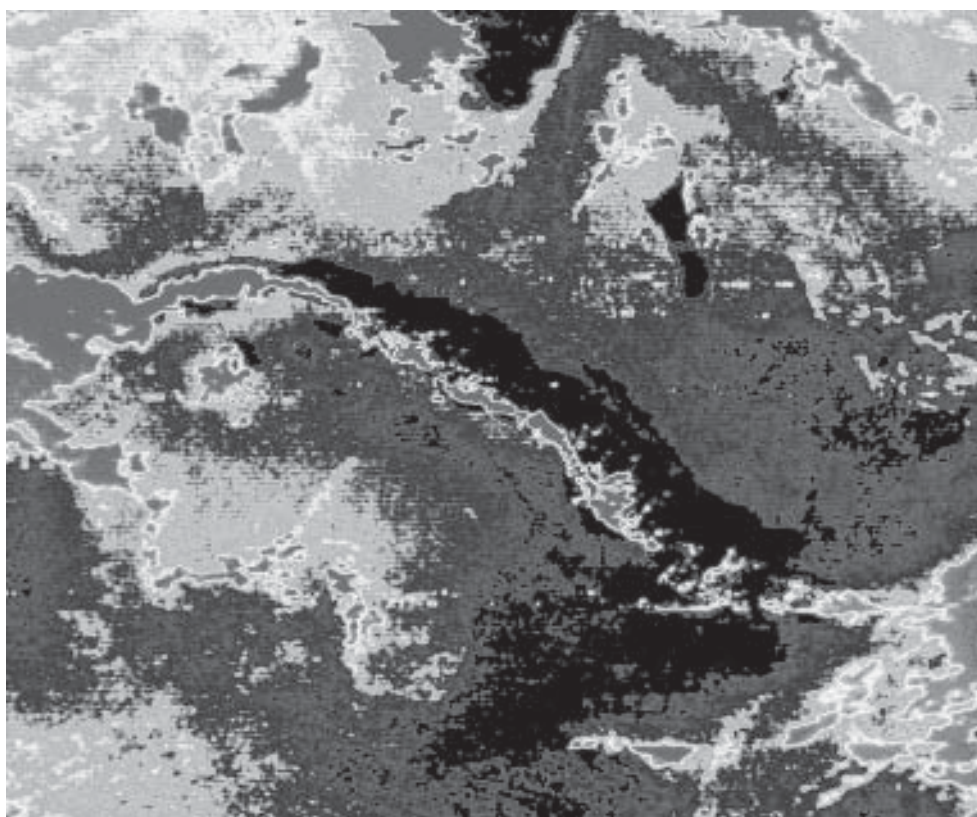


Fig. 2. Imagen IR con la aplicación «Purple Red & Stripes».

ción permitió hacer un análisis integral del proceso hidrometeorológico acaecido en estos días.

El análisis de los mapas del tiempo y de las imágenes GOES de los días precedentes al día 14, ponen de manifiesto que el Golfo de México estuvo afectado por un sistema frontal, que se fue desplazando al sudeste sobre Cuba; apareció en el mapa del tiempo del día 14 de abril extendido sobre la región oriental de Cuba (Fig. 3).

Al mismo tiempo que el centro anticiclónico que acompaña al sistema frontal y que durante los días

precedentes transfirió a las aguas del golfo gran cantidad de momentum y energía cinética, se ubica sobre la porción centro oeste de este. Al mismo tiempo el ciclón extratropical asociado al frente, se ubica al sudeste y próximo a Cabo Hattera. La acción combinada de estos dos centros produce un fuerte gradiente de presión que continúa ocasionando fuertes vientos de componente norte entre 15 y 20 nudos sobre gran parte del Golfo de México y el Canal de la Florida, la costa norte de Cuba y las Bahamas. En la figura 4 se muestra la distribución

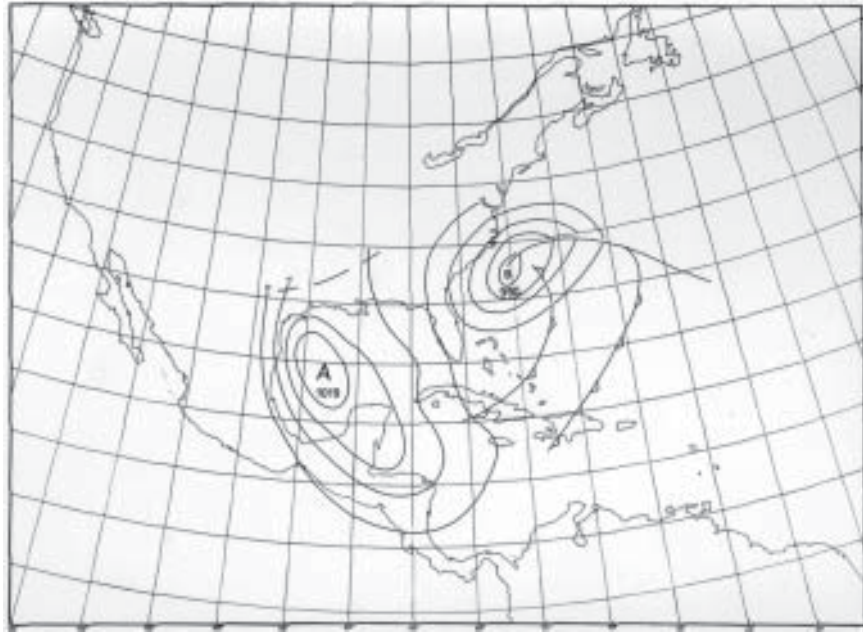


Fig. 3. Mapa del tiempo del 14/4/88, 12.00 Z.



Fig. 4. Mapa sinóptico de superficie del 14/4/88, 12.00 Z de vectores del viento.

del campo de viento, asociado a la interacción de los centros ciclónico y anticiclónico, que ha modificado la trayectoria de la Corriente del Golfo, además ha producido un desbordamiento del agua caliente de esta sobre las costas cubanas, según se puede apreciar en las imágenes de los satélites NOAA.

La figura 5 muestra el mapa sinóptico de superficie del día 15 de abril a las 1200 Z, donde se observa la permanencia del centro anticiclónico sobre el Golfo de México.

Para analizar en detalle la estructura térmica de la superficie marina en el Golfo de México, Atlánti-

ca cercano y costa norte de Cuba se prepararon un conjunto de cartas de isotermas de la región de temperatura superficial del mar. Es de interés señalar que aunque los mapas de temperatura cubren el Caribe dadas las características del proceso de estudio el interés está centrado en las regiones antes señalada.

línea paralela a la costa del continente, se observa un núcleo caliente a la altura de las Bahamas Occidentales con temperaturas sobre los 25 °C, más al norte aproximadamente en 34 norte con 72 oeste dentro de la Corriente del Golfo aparece otro núcleo caliente con temperatura de 21 °C. A ambos lados de las fronteras occidental y oriental de esta corriente se observan fuertes penetraciones de agua fría, que aparecen como tonos muy claros en las imágenes correspondientes. Al sudeste del centro de 34 norte y 72 oeste aparece un núcleo de agua fría alargado que envuelve al este y al sur al núcleo caliente.

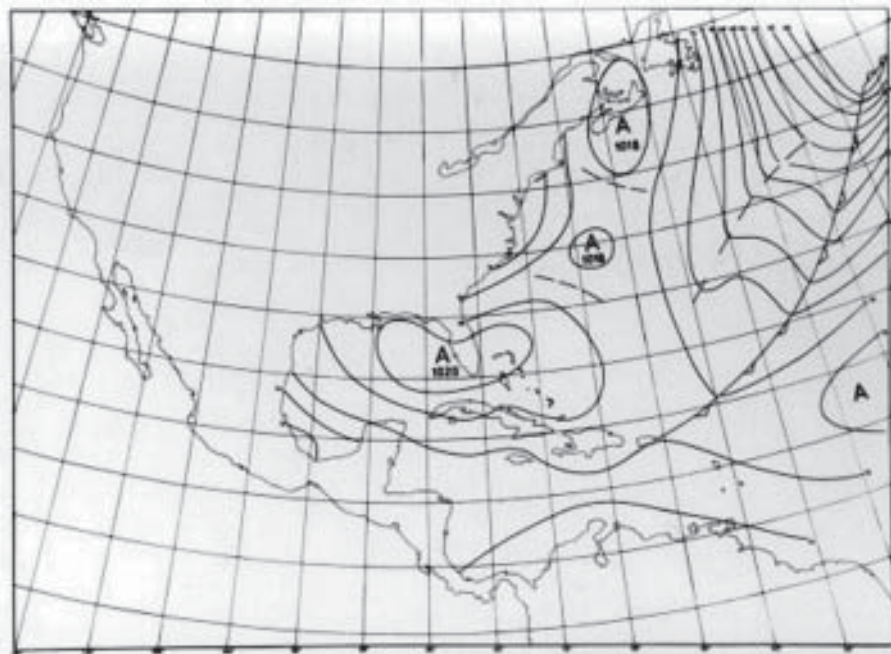


Fig. 5. Mapa sinóptico de superficie de 15/04/88, 12.00 Z.

co cercano y costa norte de Cuba se prepararon un conjunto de cartas de isotermas de la región de temperatura superficial del mar. Es de interés señalar que aunque los mapas de temperatura cubren el Caribe dadas las características del proceso de estudio el interés está centrado en las regiones antes señalada.

Análisis de isotermas 14/4/88 1200Z

Los datos de temperatura utilizados para la elaboración de todas las cartas de temperatura superficial del mar empleadas en el desarrollo de esta tarea fueron obtenidos a partir de las imágenes IR Térmico 10,3–11,3 micrones (canal-4) y datos de temperatura del mar obtenidas por buques.

El análisis isotérmico (Fig. 6) muestra una elongación de las isotermas con valores máximos de temperatura hacia el noreste a lo largo de una

La temperatura del agua próxima a la costa del continente es inferior a los 18 ° a la altura de Cabo Haterras. Sobre la costa norte de la mitad occidental de Cuba y los mares próximos aparece un núcleo de aguas calientes con temperatura de 25 ° que se enlaza con el núcleo caliente de las Bahamas Occidentales, este núcleo de aguas caliente determinado mediante el análisis de isotermas confirma el derrame de agua caliente observado en la imagen IR sobre la costa norte de Cuba y por ende, la perturbación de la Corriente del Golfo producto del imparto de los vientos producidos por la interacción de los centros ciclónicos y anticiclónicos.

La carta de análisis de isotermas del día 15 (Fig. 7) muestra a grandes rangos un patrón muy similar a la del día 14, con un desplazamiento del centro caliente sobre las costas de Cuba hacia el este y la aparición de un nuevo centro caliente

sobre la costas del extremo oriental de Cuba, ocasionado por las perturbaciones que este sistema frontal está ocasionando a la Corriente de las Antillas.

Cualquier fenómeno meteorológico capaz de producir vientos intensos afecta sensiblemente el comportamiento de la superficie marina y si esta afectación incluye a las principales corrientes del planeta, su impacto es mucho más significativo sobre las corrientes locales. En el caso de que una

zona marítima con derrame de petróleo sea afectada por un huracán la situación sería singularmente compleja y su análisis detallado está fuera del alcance de esta tarea.

De todo lo anterior se desprende, que es esencial para el monitoreo de los derrames de petróleos marítimos un control estricto de las condiciones meteorológicas en el área afectada, que debe incluir información de satélites circumpolares, geoestacionarios, radares y mapas del tiempo.

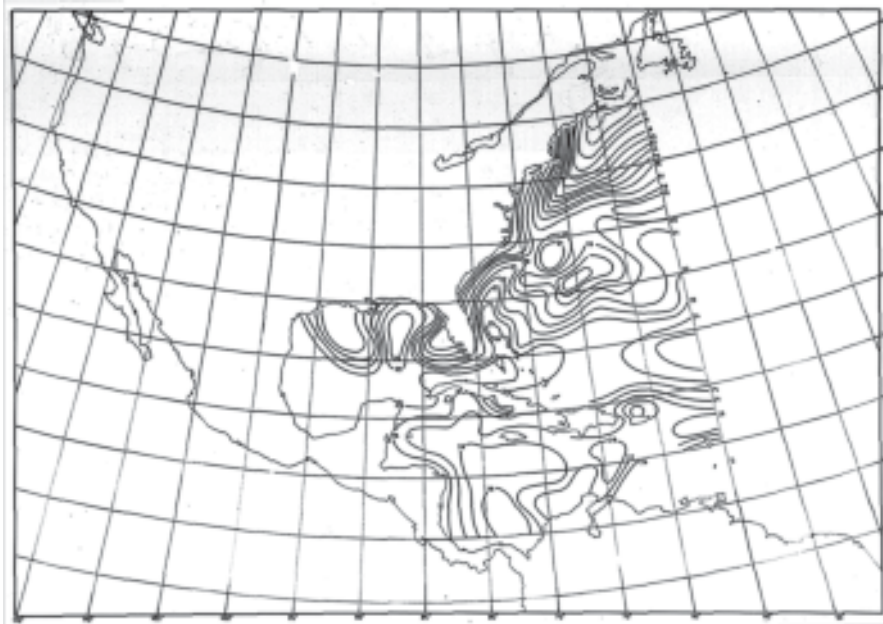


Fig. 6. Mapa isotérmico de 14/04/88, 12.00 Z que muestra la intrusión de aguas calientes sobre la costa norte de Cuba.

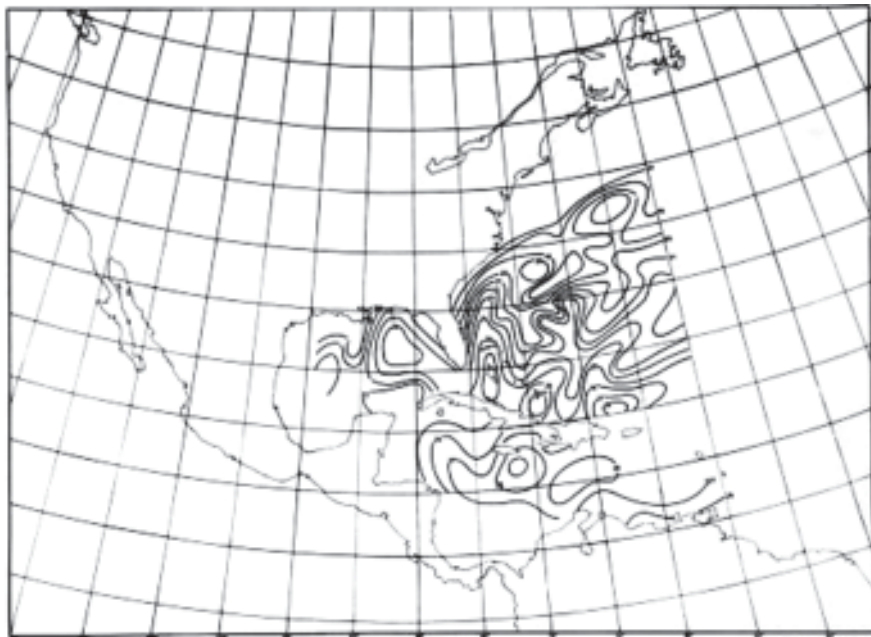


Fig. 7. Mapa isotérmico 15/04/88, 12.00 Z que muestra el desplazamiento hacia el este de los núcleos calientes.

Conclusiones

El análisis conjunto de las imágenes NOAA- AVHRR y de las imágenes GOES IR y Vs con los mapas sinópticos de superficies (*Campo* bórico y térmico) permiten la ubicación de las corrientes marinas próximas a Cuba, así como la determinación de las perturbaciones producidas en estas por el sistema frontal que afectó la región durante los días de estudio; lo que es de gran importancia para el manejo de un derrame de hidrocarburo en presencia de un fenómeno meteorológico con vientos intensos asociados.

Para el manejo eficiente de los derrames de hidrocarburo sobre las aguas próximas a Cuba se hace necesario un estudio de la interrelación entre las corrientes marinas y los fenómenos meteorológicos que afectan el área, en especial viento y lluvia.

La caracterización de las corrientes marinas presentes en el área fue lograda a través del procesamiento de las imágenes AVHRR.

Se seleccionaron las aplicaciones necesarias, para obtener los detalles de las imágenes. Con la aplicación «Red & Stripes», se pueden ver

claramente fenómenos como la intrusión de aguas calientes sobre las costas cubanas.

Pudo ratificarse que las condiciones meteorológicas extremas influyen sobre la circulación de las aguas. En el caso analizado se determinó la traslación de los núcleos calientes con la variación del patrón sinóptico.

Bibliografía

- Gulta R. K. y U. V. Gopal Rao (1983): Survey of satellite meteorology. Proc. Indian Acad (engg sci.) vol. 6,pt 3, pp. 225-277.
- Maul G. A. (1975): «An evaluation of the use of the Herat ressource tecnology satellite for observing ocean current boundaries in the gulf stream system». NOAA technical report. ERL 335-AOML 18, Boulder, Colorado, 125 p.
- Martínez M., J. M. Cotos, J. Arias y BA. Tobar (1998): «Cálculo de corrientes superficiales marinas a partir de imágenes térmicas NOAA y estimación de la influencia de los vientos en su aparición: Aplicación al suroeste de la Península Ibérica».
- Mojena E. (1990): «Determinación de la estructura térmica de la corriente de Golfo». Seminario Internacional de Teledetección, Caribe-Intercosmos.
- NOAA KLM (User's Guide), 2000.

Abstract

The present article is a study from marine currents near to Cuba on the base of the images of the sensor AVHRR of the NOAA Satélites. It is also made a valuation of the impact of the meteorological conditions for a specific situation on these currents and the significance that this effect has in the evolution of a hydrocarbon spill transported by these currents. The images used in this studies were captured by the Satellite stations of the Meteorolical Institute in Havana Cuba, that were processed with the Envi 4. For the analysis of the meteorological information were made a group of maps based on the archive information of the Meteorological Institute ogy.

Key words: Marine Currents, Satellitals Images, Meteorological Conditions.